

RADIONUKLEÁRIS ESEMÉNYEKRE VALÓ FELKÉSZÜLTSGRŐL, REAGÁLÁSRÓL, VÉDELEMRŐL ÉS KUTATÁSRÓL – KONFERENCIABESZÁMOLÓ

DOI <https://doi.org/10.29068/HO.2025.3-4.94-98>

SZERZŐK

Kulin Flóra (ORCID: 0009-0002-7834-3866, MTMT: 10087425)
Persa Eszter PhD (ORCID: 0009-0006-6894-1191, MTMT: 10059715)
Pataki Ágnes PhD (ORCID: 0000-0003-0130-8405, MTMT: 10101000)
Nagy Ágnes alezredes (MTMT: 10067596)
A szerzők a Magyar Honvédség Egészségügyi Központ Járványvédelmi és Tudományos Kutató Intézet munkatársai.

KULCSSZAVAK ABV-védelem, MASCAL, „worried well”, triász, biodozimetria

ABSZTRAKT *A 2025-ben Münchenben megrendezett 26. Nukleáris Orvosi Védelmi Konferencia (ConRad) fő célja az volt, hogy elméleti (kutatási) és gyakorlati iránymutatást nyújtson a radionukleáris védekezés napjainkban egyre sürgetőbb kihívásaihoz. Kiemelt témaként szerepelt a sugárbaesetek során alkalmazható korszerű diagnosztikai és biodozimetriai módszerek taglalása, köztük mRNS- és miRNS-alapú gyors tesztek, újszerű mintafeldolgozási technológiák, valamint az akut sugárbetegség (ASB) diagnosztikáját segítő új, potenciális biomarkerek, például az extracelluláris vezikulák. A konferencián bemutatott új tudományos eredmények, valamint a civil-katonai és nemzetközi szintű együttműködések erősítése meghatározó szerepet tölthet be a Magyar Honvédség ABV (Atom-, Biológiai és Vegyi) -védelmi képességeinek folyamatos fejlesztésében és korszerűsítésében.*

A Magyar Honvédség Egészségügyi Központ Járványvédelmi és Tudományos Kutató Intézet Sugárbiológiai Laboratórium munkatársaiként a 2025. május 5–8. között, Münchenben megrendezett 26. Nukleáris Orvosi Védelmi Konferencián (ConRad) vehettünk részt. A rendezvény célja az ionizáló sugárzás témakörében kutató szakemberek – köztük katonai és civil résztvevők – közötti multidiszciplináris eszmecsere

elősegítése volt. A tudományos ülésszak a sugárzással összefüggő balesetek kezelésének egy, a katona-egészségügyi felkészültség szempontjából kiemelten fontos kérdéskörét járta körül: készen állunk-e egy nagyszámú sérülttel járó, sugárzással összefüggő esemény (MASCAL – mass casualty) kezelésére, és rendelkezünk-e megfelelő eljárásrendekkel a sugárterhelésnek kitett és a sugárterheléssel nem érintett személyi állomány

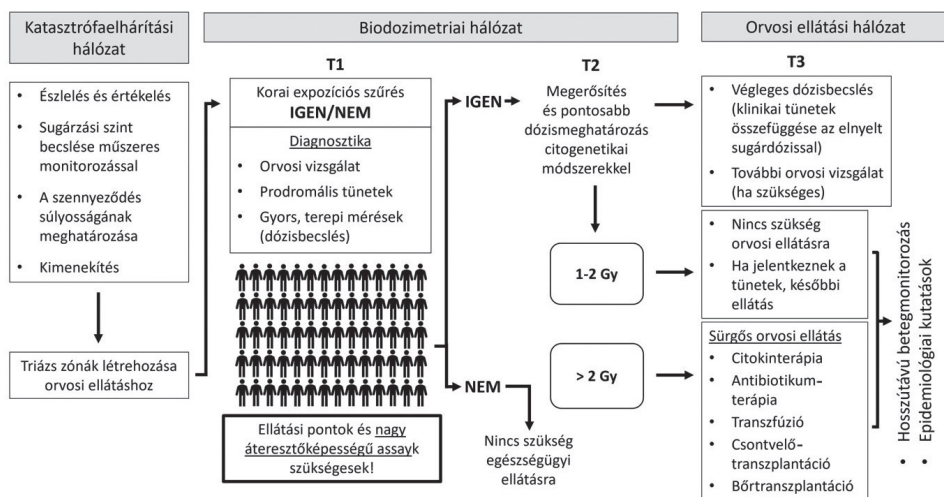
szakszerű elkülönítésére, elhelyezésére. A konferencián ehhez egy másik lényeges problémakört is társítottak: a „worried well” – azaz a sugárzástól tartó, de ténylegesen nem érintett civil lakosság – kezelése tömeges expozíciós helyzetekben.

Egy feltételezett, városi célpontok ellen elkövetett jelentős nukleáris esemény következtében igen nagyszámú (néhány millió fős) csoporttal kell számolnunk, akik esetében ugyan minimális az esély az akut sugárbetegség (ASB) kialakulására, mégis jogosan aggódnak van a sugárexpozícióban való érintettségük miatt, tehát klinikailag jelentős sugárdózis nélkül is orvosi segítséget kereshetnek. Problémaként felmerül ugyanakkor, hogy a jelenleg létező és elfogadott módszerek nem alkalmasak ezen populáció gyors és megbízható szűrésére, mert a kivitelezésükhöz szükséges idő és erőforrások elsősorban a valóban érintett, magas kockázatú egyénekre korlátozódnak. Ezért a teljes lakosság kezelésére –

függetlenül a tényleges expozíciós kitettségtől – új típusú, skalázható és gyorsan alkalmazható stratégiákra és diagnosztikai eszközökre van szükség. A jelenleg ajánlott vészforgatókönyvet a következő ábrán szemléltetjük (1. ábra).

Egy hatékonyan alkalmazható biodozimetriai technikával szemben megfogalmazott igények közül a legfontosabbak a következők: tegye lehetővé a saját mintavételt (például ujjbegyszúrással), olyan sugárzással összefüggő paramétereket mérjen, amik legalább néhány napig fennmaradnak, a minták egyszerűen szállíthatóak legyenek, a módszer nagyszámú minta tesztelésére legyen alkalmas, illetve kisebb dózisokra (<2 Gy) is legyen érzékeny. A fenti paramétereket többé-kevésbé támogató jelenleg elérhető és a modern kutatás középpontjában álló biodozimetriai módszereket a következő táblázatban foglaltuk össze.

Ahogy látjuk, a megfelelő megoldás új, önmintavételen alapuló diagnosztikai eljárások (például az „egy csepp vér”



1. ábra. Javasolt eljárásrend és triázrendszer radiológiai-nukleáris tömeges események idejére. T1, T2, T3: triázsolási szintek (az ábra a REAC/TS iránymutatása alapján készült szerzői diagram)

Módszer	Eredményig eltelt idő	Biológiai marker	Specifititás	Telepíthetőség	Alkalmazott esetek
Fehérje biomarker (ICC, immuncitokémia)	2-6 óra	γ H2AX	magas	magas	gyors, terepi monitorozás; korai DNS-károsodás marker
Génexpresszió (PCR)	4-6 óra	FDXR, CDKN1A, DDB2, BAX	magas	magas	gyors, terepi monitorozás, dózisbecslés
miRNS (PCR)	4-6 óra	miR-150-5p, miR-130b-5p	közepes-magas	magas	korai ASB-súlyosságbecslés
Dicentrikus kromoszóma assay (DCA) (tenyésztés)	48-52 óra	kromoszóma-aberráció (dicentrikus)	magas	alacsony	dózisbecslés, nyomonkövetés
Mikronukleusz assay (CBMN) (tenyésztés)	72-76 óra	kromoszóma-aberráció (mikronukleusz)	közepes-magas	alacsony	dózisbecslés, nyomonkövetés

1. táblázat Biodozimetriai módszerek összefoglalása, kitérve azok alkalmazhatóságára (szerzői táblázat)

gyorstesztek) fejlesztése lehet, melyek segíthetnek a valós expozíció azonnali kizárásában, az érintettek kiszűrésében és a lakosság megnyugtatózásában egyaránt. A szükséges paradigmaváltás részeként olyan modern molekuláris biológiai technikákat is be kell vonni, melyek célmolekulája nem kizárólag a sugárzás által közvetlenül károsított genomi DNS, hanem például a limfocitákban termelt fehérjék, a messenger RNS-ek (mRNS-ek) vagy a génexpresszió szabályozásában részt vevő mikroRNS-ek (miRNS-ek). Az előadások során ismertették egy német kutatócsoport újszerű megközelítését: egy csepp vérből kenetet készítve is elvégezhető a DNS-károsodások korai markereként ismert γ H2AX hisztonfehérje kimutatása, ezzel a hagyományos immuncitokémiai módszertan jelentősen lerövidíthető, nagyszámú alany (közel 300 fő) vérmintaelemzése történhet meg rövid idő (24 óra) alatt, bizonyítottan elkülönítve az ASB expozíció alatti (<1 Gy) csoportot az ellátást igénylőtől.¹

Egy másik ígéretes fejlesztés valószínűleg PCR-technológiát alkalmazó négy mRNS (BAX, CDKN1A, DDB2, MRPS5) expressziójának detektálására. A teszt rendkívül magas érzékenységgel és specifitással képes megkülönböztetni a sugárzásnak kitett és nem kitett egyéneket.² Számos előnnyel bír: a mintavétel egyszerű, kapilláris vérvétellel terepen is elvégezhető és a sugárrexpozíciót követően 1–7 napon belül megbízható eredményt ad. A minták nukleinsavtartalma hűtés nélkül akár 14 napig stabil maradhat, ami különösen hasznossá teszi a tesztet krízishelyzetekben, egészségügyi túlterheltség vagy politraumás sérültek gyors szűrése esetén.

Korábbi kutatások kimutatták, hogy bizonyos miRNS-ek, például a miR-150-5p, dózisfüggő módon expresszálódnak, termelődnek ionizáló sugárzás hatására. Ezt a jelenséget használták ki egy, a konferencián bemutatott miRNS-alapú assay kifejlesztéséhez, amely a miR-150-5p

1 Prabal Subedi szóbeli közlése alapján.

2 JACOBS, A. R. és mások: *Role of a high throughput biodosimetry test in treatment prioritization after a nuclear incident.*

expressziójának dóziszfüggő csökkenése alapján képes a sugárhatás kimutatására, miközben belső kontrollként a sugárzásra nem reagáló miR-23a-3p-t alkalmazza.³ Nagy előnye, hogy egyetlen, ujjbegyből vett vércsepp alapján 0,5–1 Gy pontossággal képes meghatározni a sugárdózist 24–96 órán belül.

A német hadsereg radiobiológiai intézete automatizált mikrofluidikai chipeket⁴ és nanopórus-alapú szekvenálási technológiákat dolgozott ki a helyszíni diagnosztika céljából, melyek lehetővé teszik az ASB génexpressziós profiljának gyors azonosítását minimális vérmennyiségből, még tömeges katasztrófahelyzetekben is.

Francia kutatók az extracelluláris vezikulák sugárzásra adott mennyiségi és összetételbeli változásait vizsgálták, és bemutatták, hogy azok ígéretes biomar-

kerek lehetnek a minimálisan invazív diagnosztikai eljárásokban.⁵

A rendezvény összességében jól megszervezett, logikusan strukturált, a legújabb szakmai eredményeket felvonultató tudományos fórum volt, a bemutatott technológiák és kutatások pedig jól szemléltették, hogyan segíthetik elő a modern biodozimetriai fejlesztések a gyorsabb, pontosabb és célzottabb orvosi válaszlépéseket egy esetleges sugárkatasztrófa esetén. A civil lakosság pszichés reakcióinak kezelése és a valós expozíció gyors kizárása egyaránt fontos lépések a felkészültség növelésében és a tömeges triázs kihívásainak leküzdésében. A multidiszciplináris együttműködés és a nemzetközi tapasztalatcsere a jövőben is meghatározó szerepet tölt be a sugáregészségügyi válaszadás hatékonyságának fokozásában.

FELHASZNÁLT IRODALOM

JACOBS, A. R.: *Role of a high throughput biodosimetry test in treatment prioritization after a nuclear incident.* In: *International Journal of Radiation Biology* 2020/1., 57–66. o. <https://doi.org/10.1080/09553002.2018.1532615> (A letöltés időpontja: 2025. július 17.)

RIBAULT, A. és mások: *Circulating microvesicles correlate with radiation proctitis complication after radiotherapy.* In: *Scientific Reports* 2023/1., 2033. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21726-y> (A letöltés időpontja: 2025. július 16.)

STEWART, S. és mások: *Development of a Point-of-Care Microfluidic RNA Extraction Slide for Gene Expression Diagnosis after Irradiation.* In: *Radiation Research* 2024/5., 514–522. o. <https://doi.org/10.1667/rade-23-00169.1> (A letöltés időpontja: 2025. július 12.)

YADAV, M. és mások: *Two-miRNA-based finger-stick assay for estimation of absorbed ionizing radiation dose.* In: *Science Translational Medicine* 2020/552., eaaw5831. <https://doi.org/10.1126/scitranslmed.aaw5831> (A letöltés időpontja: 2025. július 12.)

3 YADAV, M. és mások: *Two-miRNA-based finger-stick assay for estimation of absorbed ionizing radiation dose.*

4 STEWART, S. és mások: *Development of a Point-of-Care Microfluidic RNA Extraction Slide for Gene Expression Diagnosis after Irradiation.*

5 RIBAULT, Alexandre és mások: *Circulating microvesicles correlate with radiation proctitis complication after radiotherapy.*

GLOBAL CONFERENCE ON RADIATION TOPICS. PREPAREDNESS, RESPONSE, PROTECTION AND RESEARCH – CONFERENCE REPORT

AUTHORS Flóra Kulin, HDF Medical Centre
Eszter Persa PhD, HDF Medical Centre
Ágnes Pataki PhD, HDF Medical Centre
Lt. Col. Ágnes Nagy, HDF Medical Centre
The authors are from the HDF Medical Centre Epidemiological and Scientific Research Institute.

KEYWORDS CBRN, MASCAL, worried well, triage, biodosimetry

ABSTRACT *The main goal of the 26th Nuclear Medical Defense Conference (ConRad), held in Munich in 2025, was to provide both theoretical (research-based) and practical guidance for the increasingly urgent challenges of radionuclear defense. A highlighted topic was the discussion of advanced diagnostic and biodosimetric methods applicable in radiation accidents, including rapid mRNA- and miRNA-based tests, novel sample processing technologies, as well as new potential biomarkers – such as extracellular vesicles – that aid in the diagnosis of acute radiation syndrome (ARS). These new scientific findings, along with the establishment of civil-military and international collaborations deemed of outstanding importance at the conference, may lay the foundation for the continuous development of the Hungarian Defence Forces' CBRN defense capabilities.*